**Задание**

1. Выполнить конспект в тетради.

2. В качестве отчета скинуть фотографии конспекта либо в социальной сети «Вконтакте» в личном сообщении (<https://vk.com/id35792775>), либо скинуть на электронную почту guv@apt29.ru

**Срок выполнения:** до 13.10.20 до 09:00

**Физические основы работы устройств**

**Исследование работы транзистора в режиме ключа**

В ключевом режиме биполярный транзистор работает в режиме насыщения (замкнутый ключ) или отсечки (разомкнутый ключ).

В режиме насыщения оба перехода (база-коллектор и базаэмиттер) открыты, а в режиме отсечки - заперты.

Открытый транзистор может находиться в активном режиме или режиме насыщения. Для электронных ключей активный режим является невыгодным, так как в этом режиме на коллекторе рассеивается значительная мощность. Поэтому активный режим допустим только в переходных процессах.

Необходимой частью проектирования электронных ключей является оценка их динамических свойств, определяющих скорость переключения и потери энергии.

Работа транзистора в режиме ключа осуществляется в следующей последовательности:

1) транзистор заперт, ток базы определяется обратным током коллектора, заряд в базе практически отсутствует, на выходе ключа высокий уровень;

2) на входе ключа потенциал увеличивается скачком, входная емкость начинает заряжаться. Токи базы и коллектора не изменяются, пока напряжение на переходе база - эмиттер не превышает напряжения отсечки (время задержки включения);

3) в момент превышения напряжения отсечки открывается эмиттерный переход, транзистор переходит в активный режим.

Инжектируемые в базу неосновные носители нарушают равновесное состояние базы, начинается накопление заряда. Ток коллектора, обусловленный экстракцией носителей в область коллектора, пропорционально увеличивается. Время включения определяется временем перехода в режим насыщения;

4) после входа в режим насыщения внешние токи и напряжения остаются постоянными, но заряд в базе продолжает нарастать, хотя и с меньшей скоростью. Заряд, который превышает значение, соответствующее переходу в режим насыщения, называют избыточным;

5) при скачкообразном изменении потенциала на входе ключа ток базы также быстро уменьшается, нарушается равновесное состояние заряда базы и начинается его рассасывание. Транзистор остается насыщенным до тех пор, пока заряд не уменьшится до предельного значения, после чего транзистор переходит в активный режим (время задержки выключения);

6) в активном режиме заряд базы и ток коллектора уменьшаются до тех пор, пока транзистор не перейдет в режим отсечки. В этот момент входное сопротивление ключа возрастает. Этот этап определяет время выключения;

7) после перехода транзистора в режим отсечки напряжение на выходе продолжает нарастать, так как заряжаются емкости нагрузки, монтажа и емкость база - коллектор.



Полный цикл переходного процесса можно разложить на два этапа: включение транзистора и его выключение.

***Рассмотрим первый этап:***

• интервал *t0 - t1* - включение (активный режим работы транзистора);

• интервал *t1-t1'* - интервал установления заряда в базе (1Б1 >> lБ граничная).

На этапе включения ток эмиттера сначала скачком изменяется до значения *I*Б1, ток коллектора не нарастает, он инерционен. *I*К складывается с *I*Э, т. е. ток коллектора начинает расти. Это происходит до точки *t1* - это точка входа в насыщение. В момент отрицательного перепада токи *I*Э и *I*К не меняются.

В момент *t1* – напряжение $U\_{К\_{Н}}=0,2 В$. На этом этапе закончился режим включения.

***Рассмотрим второй этап:***

• интервал t2 - t3- зона рассасывания заряда на этапе выключения (время выхода из насыщения). Это самое плохое место в транзисторе;

• интервал t3 - t4- интервал выключения транзистора, в это время транзистор работает в активном режиме до тех пор, пока *I*Э = 0 - отключение эмиттерного перехода в точке t4. До момента отключения эмиттерного перехода (точка *t*4) ток *I*К(*t*) падает и через эмиттер идут два тока: *I*Б2 и *I*Э *= I*К. В момент равенства тока *I*К *= I*Б2, то тогда ток *I*Э = 0;

• интервал *t*4- *t5* - это интервал динамической отсечки. Коллекторный ток переходного процесса идет через коллекторный диод и выбрасывает избыточные носители из базы, закрывая переход. Диод закрыт, и в схеме настает период закрывания. Когда транзистор закрылся, то проявляется влияние емкостей: СБК и Спар. Напряжение UКЭ возрастает до ЕК с постоянной времени:



На этапе выключения транзистора происходит смена знака. В цепи базы пошел ток *I*Б2 в обратном направлении.

Рассмотрим работу ключа на биполярном транзисторе в программе Micro-Cap.



При таких параметрах схемы длительность рассасывания заряда в базе составит около 90 нс, что существенно по сравнению с длительностью импульса, равного 200 нс.